·论著·

使用固体燃料与中国老年人高血压发病风险的前瞻性队列研究

张帅[1]，李琴[2]，李东锋[1]，肖金平[1]，李云鹏[1*]

【摘要】 **背景** 我国人群高血压的患病率仍呈逐年升高的趋势，人口老龄化造成以高血压为代表的慢性病患病率显著增加，造成了严重的医疗负担。在我国目前仍有约 4.5 亿人口使用固体燃料烹饪或取暖，而由其产生的室内空气污染是中国面临的重要公共卫生问题。目前多项国内外研究已经证实使用固体燃料可以增加成年人高血压的发病风险，而固体燃料的使用与中国老年人高血压发病风险之间的关系，目前尚不清楚。**目的** 通过前瞻性队列研究分析在中国城乡地区使用固体燃料与老年人高血压发病风险的关联，以便为老年高血压的防治提供理论依据。**方法** 本研究为前瞻性队列研究。数据来源于 2011—2018 年中国老年健康影响因素跟踪调查问卷（CLHLS），采用基线问卷和体格检查收集的数据。纳入 2011 年队列研究中 1 453 名基线非高血压人群为研究对象，年龄为≥ 65 岁老年人，以随访发生高血压为结局指标。根据烹饪燃料来源将研究对象分为清洁燃料（电磁炉等电器，管道天然气，太阳能）组（654 名）和固体燃料（木炭，煤油，煤炭，柴草）组（799 名）。采用多因素 Cox 比例风险回归模型分析固体燃料烹饪与高血压发病风险之间的关系。**结果** 基线共纳入 1 453 名非高血压人群，平均年龄（77.6±8.8）岁，中位随访时间 7 年，结局发生高血压共 838 名。本研究结果显示，农村地区使用固体燃料烹饪比例显著高于城市（70.3% 比 1.1%，$P<0.05$）。Cox 比例风险回归模型分析结果显示，使用固体燃料烹饪可以增加老年人高血压的发病风险〔$HR=1.20$，95%CI（1.05，1.38），$P=0.01$〕，调整协变量后仍表明使用固体燃料烹饪可以增加老年人高血压的发病风险〔$HR=1.21$，95%CI（1.04，1.41），$P=0.01$〕。此外，使用固体燃料烹饪与异常平均动脉压（MAP）呈正相关〔$HR=1.26$，95%CI（1.02，1.55），$P=0.03$〕；在调整协变量后仍显示，使用固体燃料烹饪与异常 MAP 呈正相关〔$HR=1.28$，95%CI（1.02，1.60），$P=0.03$〕。**结论** 在中国城乡地区使用固体燃料烹饪显著增加老年人高血压的发病风险，而且可以影响平均动脉压。减少使用固体燃料烹饪、提倡使用清洁燃料是高血压防控中一种简单、有效的措施。

【关键词】 高血压；空气污染，室内；固体燃料；清洁燃料；老年人；前瞻性研究；队列研究

【中图分类号】 R 544.1 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0268

【引用本文】 张帅，李琴，李东锋，等 . 使用固体燃料与中国老年人高血压发病风险的前瞻性队列研究［J］. 中国全科医学，2023. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0268.［Epub ahead of print］.［www.chinagp.net］

ZHANG S，LI Q，LI D F，et al. A prospective cohort study of solid fuels use and risk of hypertension in Chinese older adults［J］. Chinese General Practice，2023.［Epub ahead of print］.

A Prospective Cohort Study of Solid Fuels Use and Risk of Hypertension in Chinese Older Adults

ZHANG Shuai[1]，*LI Qin*[2]，*LI Dongfeng*[1]，*XIAO Jinping*[1]，*LI Yunpeng*[1*]

1.Department of Cardiovascular Medicine，Sinopharm Dongfeng General Hospital，Hubei University of Medicine，Shiyan 442008，China

2.Hematology Department，Sinopharm Dongfeng General Hospital，Hubei University of Medicine，Shiyan 442008，China

[*]Corresponding author：LI Yunpeng，Associate chief physician；E-mail：Liyunpengmedicine@163.com

【Abstract】 **Background** The prevalence of hypertension in Chinese population is still increasing by year，and the significant increase in the prevalence of chronic diseases caused by aging of the population results in a serious medical burden. There are still about 450 million people in China who use solid fuels for cooking or heating，causing indoor air pollution as an important public health problem in China. At present，several domestic and foreign studies have confirmed the correlation of solid fuels use with the increased risk of hypertension in adults，while the relationship between solid fuels use and the risk of

基金项目：湖北省十堰市科学技术局引导性科研项目（21Y86）；湖北医药学院附属国药东风总医院专项科研基金项目（2022Q01）

1.442008 湖北省十堰市，湖北医药学院附属国药东风总医院心血管内科

2.442008 湖北省十堰市，湖北医药学院附属国药东风总医院血液内科

[*]通信作者：李云鹏，副主任医师，E-mail：Liyunpengmedicine@163.com

本文数字出版日期：2023-06-28

hypertension in Chinese older adults still remains unclear. Objectives To analyze the association between solid fuels use and the risk of hypertension in older adults in urban and rural areas of China through a prospective cohort study, so as to provide a theoretical basis for the prevention and treatment of hypertension in the elderly. **Methods** This study is a prospective cohort study. Data were obtained from the 2011 to 2018 China Longitudinal Healthy Longevity Survey (CLHLS) by using baseline questionnaire and physical examination. A total of 1 453 non-hypertensive older adults aged 65 years and above in the 2011 cohort were included in the study, and the occurrence of hypertension during follow-up was considered as the outcome indicator. The included subjects were divided into the clean fuel (electrical appliances such as induction cooker, pipeline natural gas, solar energy) group (n=654) and solid fuel (charcoal, kerosene, coal, firewood) group (n=799). Multivariate Cox proportional hazard regression model was used to analyze the association between cooking with solid fuels and the risk of hypertension. **Results** A total of 1 453 non-hypertensive older adults at baseline with an average age of (77.6 ± 8.8) years and a median follow-up of 7 years, and a total of 838 people developed hypertension at the outcome. The results of this study showed that the proportion of cooking with solid fuels in rural areas was significantly higher than that in urban areas (70.3% vs.1.1%, P<0.05). Multivariate Cox proportional hazard regression model showed that cooking with solid fuels significantly increased the risk of hypertension 〔HR=1.20, 95%CI (1.05, 1.38), P=0.01〕, and the adjustment for covariates still indicated that it increased the risk of hypertension 〔HR=1.21, 95%CI (1.04, 1.41), P=0.01〕. In addition, cooking with solid fuels was positively associated with abnormal mean arterial pressure (MAP) 〔HR=1.26, 95%CI (1.02, 1.55), P=0.03〕; and the adjustment for covariates still showed positive association of it with abnormal MAP 〔HR=1.28, 95%CI (1.02, 1.60), P=0.03〕. **Conclusion** Cooking with solid fuels in urban and rural areas of China significantly increases the risk of hypertension in the elderly, as well as affects the mean arterial pressure. Reducing the use of solid fuels for cooking and promoting the use of clean fuels is a simple and effective measure in the prevention and control of hypertension.

【Key words】 Hypertension; Air pollution, indoor; Solid fuel; Clean fuel; Aged; Prospective studies; Cohort studies

高血压作为目前常见的一种流行病，其发病率一直居高不下。但高血压的知晓率、治疗率及控制率均不容乐观，尤其是在老年高血压人群中。现阶段，我国人口老龄化现象日益严重，第七次人口普查结果显示，我国 80 岁以上的老年人口达 3 580 万人，为总人口的 2.54%。根据 2014 年中国老年健康影响因素跟踪调查问 卷（Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey，CLHLS）数据显示，高龄老年高血压患病率为 56.5%，其中知晓率为 52.2%，控制率为 11.5%，知晓者的控制率为 22.2%[1]。相对于一般高血压人群，老年高血压人群更易发生脑卒中、心力衰竭及其他严重心血管事件、肾衰竭等并发症[1]，危害极大。而高龄老年人是老年人中的特殊群体，人口老龄化造成以高血压为代表的慢性病患病率显著增加。

目前空气污染，特别是家庭空气污染已成为我国乃至全世界面临的重要公共卫生问题，其中由烹饪所产生的污染是家庭空气污染的主要来源[2]。据 WHO 统计，全球大约有 30 亿人主要依靠煤、木柴、木炭和动物粪便等固体燃料烹饪或取暖，特别是在低收入和中等收入国家，包括中国目前仍有约 4.5 亿人口使用固体燃料烹饪或取暖。中国城乡居民燃料使用现状差异显著，在大部分经济发达城市，使用清洁燃料的居民已经占到半数以上；然而，在广大农村，使用固体燃料做饭或者取暖的居民仍然非常普遍[2]。固体燃料（主要包括木炭、燃料木、粪便、农业残留物、木材废物）和煤炭的燃烧，导致大量污染物排放，如颗粒物（PM），并产生大量的家庭空气污染。在此之前，已经有多项国内外研究曾报道过使用固体燃料烹饪和高血压发病风险之间的关系，但研究结果不一[3-4]。PURE 研究共纳入了 10 个国家城乡地区的流行病学数据，研究结果显示，固体燃料的使用和高血压的发病风险没有显著相关性[3]。也有研究报告显示，固体燃料使用与成人高血压发病率呈显著正相关[5-9]。此外，在高海拔国家秘鲁进行的一项调查研究显示，生物质燃料的使用可以增加成人高血压的发病风险[4]。目前使用固体燃料烹饪与中国老年人高血压发病风险之间的关联尚不清楚。本研究通过前瞻性队列研究，分析在中国城乡地区使用固体燃料与老年人高血压发病风险的关联，以便为老年高血压的防治提供理论依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本研究数据来源于 2011—2018 年 CLHLS，随访调查于 2014 年进行，CLHLS 的后续问卷分为两类：对幸存受访者的访谈问卷和对已故受访者的亲密家庭成员的访谈问卷。2011/2012 年的调查对象包括 9 765 名中国老年人。排除 65 岁以下（86 名）、失访或死亡（6 776 名）、基线时患有高血压人群（1 424 名）、烹饪燃料数据缺失或从未烹饪（26 名）或使用其他烹饪燃料（508 名）的受访者，最终共纳入 1 453 名在基

线时没有高血压的受访者。本研究经北京大学研究伦理委员会（IRB00001052-13074）批准，并获得所有受访者或其法定监护人的书面同意。

1.2 固体燃料暴露量的评估 受访者在基线时回答的问卷调查，评估受访者家庭对烹饪燃料的接触情况，并对幸存受访者或已故受访者的亲密家庭成员进行随访，问题是“您家主要使用哪种方式煮饭？”。本研究比较了烹饪使用固体燃料（木炭、煤炭、木柴/稻草）和清洁燃料（电磁炉等电器、管道天然气、太阳能）[2]与中国老年人的高血压发病风险之间的关系。

1.3 结局指标定义和血压测量 每个受访者都采取坐姿测量血压，用水银血压计测量受试者左臂，测量 2 次血压，测量设定时间间隔至少为 1 min。水银血压计必须在测量前进行校准。收缩压（SBP）和舒张压（DBP）取 2 次测量的平均值。平均动脉压（MAP）=1/3（SBP）+2/3（DBP），MAP 参考值为 70~105 mmHg（1 mmHg=0.133 kPa）。对于幸存者，高血压定义为：（1）既往有明确的高血压病史，目前正在口服降压药；（2）测量 SBP ≥ 140 mmHg 和/或 DBP ≥ 90 mmHg。对于已故的受访者，高血压状况根据近亲属确定：“受访者在死亡前是否患有高血压？”

1.4 协变量 参考以往研究，纳入下列协变量：年龄、性别（男/女）、婚姻状况（已婚/未婚）、居住地（城市/乡镇/农村）、吸烟状况（目前吸烟/从不吸烟）、饮酒状况（是/否）、定期锻炼（是/否）、社会活动（每天/每周 1 次/每月 1 次/偶尔/从不参加）、有无养老保险（有/无）、是否合并慢性病（糖尿病、心脏病、中风及脑血管疾病、肺气肿、肺结核、肿瘤等）、文化程度（文盲/小学或初中/高中或大学）、家庭年收入（<30 000 元/30 000~50 000 元/>50 000 元）等。

1.5 随访与结局事件 于 2018 年对纳入研究的人群进行中位随访时间 7 年的随访，在 2014—2018 年随访期间，通过与受访者或其亲属的访谈收集其生存资料和死亡日期。随访时间从基线研究时开始，直至死亡或最后一次随访。结局事件为新发高血压。

1.6 分组 根据受访者烹饪燃料来源将研究对象分为清洁燃料组（654 名）和固体燃料组（799 名）。

1.7 统计学方法 应用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料采用（$\bar{x} \pm s$）进行描述，组间比较采用 t 检验；计数资料采用频率和百分比表示，组间比较采用 χ^2 检验。采用多因素 Cox 比例风险回归模型分析固体燃料烹饪与高血压、MAP 发病风险之间的关系，采用风险比（HR）及其 95%*CI* 来评价烹饪使用燃料与高血压之间的关联强度，并根据性别、年龄、居住地等进行亚组分析。以 P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究对象一般情况 根据纳入和排除标准，共纳入了 1 453 名研究对象进入分析，其中男 737 名（50.7%）、女 716 名（49.3%），平均年龄为（77.6 ± 8.8）岁，已婚 849 名（58.4%），居住地为农村 811 名（55.8%）。烹饪使用固体燃料的 799 名受访者居住地以农村为主 562 名（70.3%），婚姻状况以已婚为主 470 名（58.8%），吸烟状况以从不吸烟为主 592 名（74.1%），定期锻炼以否为主 574 名（71.8%），社会活动以从不参加为主 699 名（87.5%），合并慢性病以否为主 655（82.0%）。两组研究对象年龄、性别、DBP、MAP、饮酒状况、养老保险比较，差异无统计学差异（P>0.05）；两组研究对象 SBP、婚姻状况、居住地、吸烟状况、定期锻炼、社会活动、合并慢性病、文化程度、家庭年收入比较，差异有统计学意义（P<0.05），见表 1。

2.2 使用固体燃料烹饪与老年人高血压发病风险的多因素 Cox 比例风险回归分析 本研究共纳入≥ 65 岁老年人共 1 453 名，中位随访时间为 7 年，结局发展为高血压的共 838 名。以结局事件是否为新发高血压（赋值：否 =1，是 =2）为因变量，以年龄（赋值：65~79 岁 =1，≥ 80 岁 =2）、性别（赋值：男 =1，女 =2）、婚姻状况（赋值：已婚 =1，未婚 =4）、吸烟状况（赋值：目前吸烟 =1，从不吸烟 =2）、饮酒状况（赋值：是 =1，否 =2）、社会活动（赋值：每天 =1，每周一次 =2，每月一次 =3，偶尔 =4，从不参加 =5）、有无养老保险（赋值：有 =1，无 =0）、合并慢性病（赋值：是 =1，否 =0）、文化程度（赋值：文盲 =1，小学或初中 =2，高中或大学 =3）为协变量进行多因素 Cox 比例风险回归分析，结果显示，使用固体燃料烹饪可以增加老年人高血压的发病风险〔*HR*=1.20，95%*CI*（1.05，1.38），P=0.01〕；在调整协变量后，使用固体燃料烹饪与老年人高血压发病风险仍显著相关〔*HR*=1.21，95%*CI*（1.04，1.41），P=0.01〕。亚组分析表明，除养老保险外，各亚组与高血压发病风险交互效应不显著（P>0.05），见表 2。

2.3 使用固体燃料烹饪与 MAP 的多因素 Cox 比例风险回归分析 以异常 MAP（MAP<70 mmHg 或 MAP>105 mmHg）（赋值：异常 =1，正常 =0）为因变量，以年龄（赋值：65~79 岁 =1，≥ 80 岁 =2）、性别（赋值：男 =1，女 =2）、婚姻状况（赋值：已婚 =1，未婚 =4）、吸烟状况（赋值：目前吸烟 =1，从不吸烟 =2）、饮酒状况（赋值：是 =1，否 =2）、有无养老保险（赋值：有 =1，无 =0）、合并慢性病（赋值：是 =1，否 =0）、文化程度（赋值：文盲 =1，小学或初中 =2，高中或大学 =3）为协变量进行多因素 Cox 比例风险回归分析，结果显示，使用固体燃料烹饪与异常 MAP 呈正相关〔*HR*=1.26，95%*CI*（1.02，1.55），P=0.03〕；在调整协变量后仍显示，使用固体

表 1　研究对象一般情况

Table 1　General information of study subjects

组别	人数	年龄（$\bar{x}\pm s$，岁）	性别〔例（%）〕		SBP（$\bar{x}\pm s$，mmHg）	DBP（$\bar{x}\pm s$，mmHg）	MAP（$\bar{x}\pm s$，mmHg）
			男	女			
清洁燃料组	654	77.9±8.6	315（48.2）	339（51.8）	124±11	75±7	92±7
固体燃料组	799	77.4±9.0	422（52.8）	377（47.2）	122±11	75±8	91±8
χ^2（t）值		1.09^a	3.11		3.11^a	−0.29^a	1.32^a
P 值		0.270	0.070		0.002	0.780	0.190

组别	婚姻状况〔例（%）〕		居住地〔例（%）〕			吸烟状况〔例（%）〕		饮酒状况〔例（%）〕	
	已婚	未婚	城市	乡镇	农村	目前吸烟	从不吸烟	是	否
清洁燃料组	379（57.9）	275（42.1）	193（29.5）	212（32.4）	249（38.1）	124（19.0）	530（81.0）	145（22.2）	509（77.8）
固体燃料组	470（58.8）	329（41.2）	9（1.1）	228（28.5）	562（70.3）	207（25.9）	592（74.1）	168（21.1）	631（78.9）
χ^2（t）值	10.20		277.00			9.87		1.09	
P 值	0.040		<0.001			0.002		0.580	

组别	定期锻炼〔例（%）〕		社会活动〔例（%）〕					养老保险〔例（%）〕	
	是	否	每天	每周 1 次	每月 1 次	偶尔	从不参加	有	无
清洁燃料组	346（52.9）	308（47.1）	40（6.1）	24（3.7）	31（4.7）	88（13.5）	471（72.0）	510（78.0）	144（22.0）
固体燃料组	225（28.2）	574（71.8）	24（3.0）	11（1.4）	12（1.5）	53（6.6）	699（87.5）	630（78.8）	169（21.2）
χ^2（t）值	92.80		56.40					0.16	
P 值	<0.001		<0.001					0.690	

组别	合并慢性病〔例（%）〕		文化程度〔例（%）〕			家庭年收入〔例（%）〕		
	是	否	文盲	小学或初中	高中或大学	<30 000 元	30 000~50 000 元	>50 000 元
清洁燃料组	181（27.7）	473（72.3）	262（40.1）	264（40.4）	128（19.5）	315（48.2）	125（19.1）	214（32.7）
固体燃料组	144（18.0）	655（82.0）	414（51.8）	301（37.7）	84（10.5）	604（75.6）	81（10.1）	114（14.3）
χ^2（t）值	19.30		30.60			109.00		
P 值	<0.001		<0.001			<0.001		

注：^{a} 为 t 值；SBP= 收缩压，DBP= 舒张压，MAP= 平均动脉压；1 mmHg =0.133 kPa。

燃料烹饪与异常 MAP 呈正相关〔*HR*=1.28，95%*CI*（1.02，1.60），*P*=0.03〕。亚组分析表明，除婚姻状况外，各亚组与异常 MAP 交互效应不显著（*P*>0.05），见表 3。

3　讨论

使用固体燃料进行烹饪或取暖而产生的室内空气污染，是中国面临的重要公共卫生问题[2]。目前多项国内外研究已经证实使用固体燃料可以增加成人高血压的发病风险。BARMAN 等[5]评估了在 19~60 岁妇女群体中，使用固体燃料的烟雾暴露与高血压发病率之间的关系，研究发现每增加 1 年累积暴露于固体燃料烟雾，高血压发病风险增加 61%〔*HR*=1.61，95%*CI*（1.16，2.22），*P*<0.01〕。最近一项研究表明，居住在秘鲁高海拔地区的 1 004 名居民（平均年龄 55.3 岁）固体燃料的使用与高血压发病风险增加相关〔*HR*=3.5，95%*CI*（1.7，7.0）〕[6]。BAUMGARTNER 等[8]在我国云南农村地区纳入了 280 名成年女性的一项横断面研究结果显示，燃烧固体燃料可以增加高血压发病风险。LEE 等[9]在我国上海市普陀区纳入了 14 068 名成年人的一项横断面研究结果表明，使用固体燃料进行烹饪可以增加高血压的发病风险。以上均是固体燃料与中国成人高血压发病风险之间关系的研究，然而固体燃料的使用与中国老年人高血压发病风险之间的关系，目前尚不清楚。本研究分析了在中国城乡地区使用固体燃料与老年人高血压发病风险之间的关系，研究结果显示，使用固体燃料烹饪的老年人高血压发病风险显著增加，本研究结果与上述研究结果一致[5-9]。

但也有一些研究得出不同的结论。刘之光等［10 纳入 45 144 名中国成年人的研究结果显示，固体燃料和高血压患病率无明显相关性。OFORI 等[11]基于 389 名在尼日利亚南部的女性人群研究显示，烹饪使用固体燃料和高血压之间无明显关联，和其他 3 个也特定于女性的研究结论一致[12-14]。这些不同可能与固体燃料类型、研究地点和目标研究受访者的差异有关。本研究是在我国 23 个省份的 23 个研究地点进行的，本研究人群男女比例几乎相等，这也说明烹饪燃料与高血压的发病风险可能受到其他因素影响。

本研究结果显示，使用固体燃料烹饪可以增加老年人高血压的发病风险。目前，中国的人口老龄化现象日

表 2 使用固体燃料烹饪与老年人高血压发病风险的多因素 Cox 比例风险回归分析

Table 2 Multivariate Cox proportional hazards regression analysis between cooking with solid fuels and risk of hypertension in the elderly

自变量	*β*	*SE*	Wald χ^2 值	*P* 值	*HR*（95%*CI*）
未调整模型					
固体燃料	0.18	0.07	6.81	0.01	1.20（1.05，1.38）
年龄	-0.07	0.11	0.46	0.50[a]	0.93（0.76，1.15）
65~79 岁	0.21	0.10	4.78	0.03	1.23（1.02，1.49）
≥ 80 岁	0.08	0.13	0.34	0.56	1.08（0.84，1.38）
性别	-0.11	0.11	1.02	0.31[a]	0.90（0.73，1.11）
男	0.17	0.11	2.33	0.13	1.18（0.95，1.46）
女	0.18	0.11	2.88	0.09	1.20（0.97，1.48）
婚姻状况	0.04	0.03	1.21	0.27[a]	1.04（0.97，1.11）
已婚	0.15	0.10	2.19	0.14	1.16（0.95，1.42）
未婚	0.26	0.12	4.67	0.03	1.30（1.03，1.64）
吸烟状况	0.14	0.12	1.35	0.25[a]	1.16（0.91，1.47）
目前吸烟	-0.01	0.17	0.003	0.96	0.99（0.70，1.39）
从不吸烟	0.23	0.09	7.52	0.01	1.26（1.07，1.49）
饮酒状况	0.11	0.11	1.01	0.32[a]	1.12（0.90，1.40）
是	0.15	0.17	0.84	0.36	1.17（0.84，1.62）
否	0.19	0.09	4.95	0.03	1.21（1.02，1.43）
社会活动	-0.03	0.06	0.31	0.58[a]	0.97（0.87，1.08）
每天	0.34	0.45	0.57	0.45	1.41（0.58，3.41）
每周 1 次	0.29	0.58	0.25	0.62	1.34（0.43，4.14）
每月 1 次	1.52	0.62	6.01	0.01	4.56（1.36，15.4）
偶尔	0.56	0.25	5.26	0.02	1.76（1.09，2.84）
从不参加	0.15	0.09	3.02	0.08	1.16（0.98，1.37）
养老保险	0.24	0.12	4.12	0.04[a]	1.28（1.01，1.62）
有	0.25	0.17	2.10	0.15	1.28（0.92，1.78）
无	0.18	0.09	4.34	0.04	1.20（1.01，1.42）
合并慢性病	0.02	0.12	0.03	0.87[a]	1.02（0.80，1.30）
是	0.15	0.16	0.94	0.33	1.16（0.86，1.58）
否	0.22	0.09	6.36	0.01	1.25（1.05，1.48）
文化程度	-0.03	0.08	0.16	0.69[a]	0.97（0.83，1.14）
文盲	0.22	0.11	4.00	0.05	1.25（1.01，1.54）
小学或初中	0.12	0.12	0.97	0.33	1.13（0.89，1.44）
高中或大学	0.07	0.22	0.10	0.75	1.07（0.70，1.63）
调整协变量后模型 1					
固体燃料	0.18	0.07	6.53	0.01	1.20（1.04，1.37）
调整协变量后模型 2					
固体燃料	0.19	0.08	7.37	0.01	1.21（1.04，1.41）

注：[a] 表示各变量与高血压发病风险的 P 交互值；模型 1：调整协变量年龄、性别；模型 2：调整协变量年龄、性别、吸烟状况、饮酒状况、婚姻状况、社会活动、养老保险、文化程度、合并慢性病。

表 3 使用固体燃料烹饪与 MAP 的多因素 Cox 比例风险回归分析

Table 3 Multivariate Cox proportional hazards regression between cooking with solid fuels and MAP

自变量	β	SE	Wald χ^2 值	*P* 值	*HR*（95%*CI*）
未调整模型					
固体燃料	0.23	0.11	4.60	0.03	1.26（1.02，1.55）
年龄	-0.29	0.16	3.12	0.08[a]	0.75（0.55，1.03）
65~79 岁	0.35	0.14	5.97	0.02	1.42（1.07，1.89）
≥ 80 岁	-0.01	0.20	0.002	0.97	0.99（0.67，1.46）
性别	0.03	0.16	0.02	0.88[a]	1.03（0.75，1.41）
男	0.24	0.17	1.99	0.16	1.27（0.91，1.78）
女	0.21	0.16	1.79	0.18	1.23（0.91，1.68）
婚姻状况	0.10	0.05	3.90	0.05[a]	1.10（1.00，1.22）
已婚	0.15	0.16	0.86	0.35	1.16（0.85，1.58）
未婚	0.33	0.18	3.31	0.07	1.39（0.98，1.97）
吸烟状况	0.01	0.18	0.004	0.95[a]	1.01（0.71，1.45）
目前吸烟	-0.01	0.25	0.001	0.98	0.99（0.61，1.61）
从不吸烟	0.31	0.13	5.71	0.02	1.37（1.06，1.76）
饮酒状况	-0.04	0.17	0.05	0.82[a]	0.96（0.69，1.35）
是	0.13	0.24	0.28	0.60	1.14（0.71，1.83）
否	0.26	0.13	3.81	0.05	1.30（1.00，1.60）
养老保险	0.30	0.18	2.87	0.09[a]	1.35（0.95，1.92）
有	0.33	0.26	1.62	0.20	1.38（0.84，2.28）
无	0.22	0.13	2.69	0.10	1.24（0.96，1.60）
合并慢性病	-0.14	0.20	0.55	0.46[a]	0.87（0.59，1.27）
是	0.04	0.25	0.02	0.89	1.04（0.63，1.71）
否	0.33	0.13	6.41	0.01	1.40（1.08，1.81）
文化程度	-0.18	0.13	2.13	0.15[a]	0.83（0.65，1.07）
文盲	0.35	0.16	4.62	0.03	1.42（1.03，1.96）
小学或初中	0.09	0.19	0.20	0.66	1.09（0.75，1.58）
高中或大学	-0.09	0.35	0.06	0.80	0.92（0.47，1.81）
调整协变量后模型 1					
固体燃料	0.23	0.11	4.74	0.03	1.26（1.02，1.56）
调整协变量后模型 2					
固体燃料	0.24	0.12	4.48	0.03	1.28（1.02，1.60）

注：[a] 表示各变量与异常 MAP 的 P 交互值；模型 1：调整协变量年龄、性别；模型 2：调整协变量年龄、性别、吸烟状况、饮酒状况、婚姻状况、养老保险、合并慢性病、文化程度。

益加重，然而在老年高血压人群中，其高血压的知晓率、治疗率及控制率均不容乐观。在高龄老年人群中，高血压可导致脑卒中、严重的心血管事件及肾脏损害。众所周知，持续的高血压，即使血压在正常参考范围内，冠状动脉事件和脑卒中的长期风险分别增加近 30% 和 40%[15-16]。此外，如果血压反复升高，则会导致血管内膜厚度增加，从而导致高血压的发生、发展[17]。而在中国农村地区，许多老年人，特别是高龄老年人，习惯使用固体燃料进行烹饪和取暖，这种现象非常普遍。本研究发现使用固体燃料烹饪可以增加老年人高血压的发病风险，这种改变可能与心血管系统累积的危险影响或长期 PM 暴露导致的长期氧化应激和全身炎症有关[8]。目前已有研究证实，大气 PM 的长期暴露与白介素 6（IL-6）、C 反应蛋白（CRP）以及中性粒细胞比值等炎症标记物升高密切相关[18]。同时本研究还发现，使用固体燃料烹饪与异常 MAP 呈正相关〔*HR*=1.26，

95%*CI*（1.02，1.55），*P*=0.03〕，在调整协变量后仍显示，使用固体燃料烹饪与异常 MAP 呈正相关〔*HR*=1.28，95%*CI*（1.02，1.60），*P*=0.03〕，这可能与固体燃料燃烧后释放了大量的 PM2.5，破坏了血管内膜，造成血管内皮受损及内皮功能障碍，进一步导致动脉粥样硬化，影响平均动脉压，最终导致高血压的发生，其中具体的发生机制需要未来进一步研究证实。

此外，日常活动障碍通常在高龄老年人群中更为普遍[19]，从而限制了他们的户外活动，这使他们在污染的室内空气中暴露的几率显著升高。另一种合理的解释可能是衰老可导致内皮形态和内皮功能障碍的改变[20]，而内皮功能的破坏是在吸入 PM 后血压升高最可能的机制之一。研究表明，高血压的发病率与个人的生活方式密切相关，特别是不良生活习惯，采取健康生活方式（包括低盐低脂饮食、适当运动、减轻精神心理压力等）可降低高血压发病率[21]。此外，长期使用固体燃料烹饪或取暖，可以释放大量 PM2.5，而长期 PM2.5 暴露可以引起血压升高，其机制可能包括系统炎症反应、自主神经功能紊乱、氧化应激和内皮功能损伤等，最终均可以导致动脉粥样硬化，引起血压升高，从而增加心血管事件[22-23]。PM2.5 在进入人体数分钟到数小时内即可导致自主神经功能紊乱，进而激活交感神经系统从而引起血压急剧升高。而慢性的血压升高可能与系统炎症反应相关[23]。同时，PM2.5 长期暴露还可以导致机体代谢紊乱，进而造成空腹血糖以及总胆固醇水平升高，机体代谢紊乱、氧化应激以及系统炎症反应等可共同加速动脉粥样硬化进程[24]。由于老年人，特别是高龄老年人，清除呼吸道颗粒物生理机能逐渐减退，同时大多合并心血管及呼吸系统疾病，使其更易受到环境中大气颗粒物污染的影响而致病[25]，导致长期暴露于 PM2.5 后使血压升高更加显著[26]。因此，老年人群如果已经存在内皮功能障碍，如果长期暴露在室内空气污染的环境中，就会导致血压升高。

在以往对成人固体燃料使用与高血压关系的研究基础上，本研究补充了老年人的研究结果，发现使用固体燃料烹饪与高血压发病风险呈正相关，而且与 MAP 的改变呈正相关。本研究结果有助于制订旨在控制中国老年人高血压患病率的干预策略：（1）鼓励老年人定期进行体育锻炼，避免长时间呆在室内；（2）建议烹饪时尽量使用清洁燃料，以降低室内空气污染程度，多开窗通风，保证室内空气流通；（3）鼓励积极的参与社会活动、戴口罩、避免呼吸道感染等。本研究结果提示：对社会层面来说，绿水青山就是金山银山，空气污染治理势在必行，保护环境，人人有责。空气质量及生活方式的持续改善将进一步促进心血管健康；从个体层面上来讲，特别对于老年人群，在极端或雾霾天气需做好个人防护措施，推荐使用清洁能源烹饪或取暖，从而降低 PM2.5 的不利影响，以进一步降低心脑血管事件的发生。

本研究的局限性：（1）本研究结果只能推广到中国的老年人，而固体燃料对健康的影响在年轻人和老年人之间可能是不同的。（2）没有控制个别降压药物的使用，但这并没有改变前瞻性队列研究的主要结果，即使用固体燃料烹饪显著增加高血压发病风险，因为受访者在基线时没有高血压。（3）固体燃料的室内空气污染暴露评估是基于自我报告的燃料使用，而不是直接测量个人实际暴露剂量的；因此，没有探索固体燃料烟雾的精细 PM 成分与高血压的关系。（4）通过问卷调查收集有关协变量的信息，并自我报告高血压状态；因此，有可能存在回忆偏差。

综上所述，本研究的全国前瞻性队列研究表明，使用固体燃料烹饪可以增加老年人高血压的发病风险，但需要进一步研究（包括对室内空气污染更客观的证据）来证实。大力推荐使用清洁燃料烹饪以减少室内污染，从而进一步降低高血压的发病风险，可以为有效防治高血压提供一定的参考依据。

作者贡献：张帅提出研究理念，负责数据收集、数据整理、统计学分析、论文撰写；李琴负责数据整理，提供统计学设计思路，论文修订；李东锋负责项目管理、思路指导；肖金平进行统计学计算和可行性分析；李云鹏提供资源、对文章监督管理和审查。

本文无利益冲突。

参考文献

［1］刘淼，王建华，王盛书，等. 中国高龄老年人血压水平和高血压患病及其控制情况［J］. 中华高血压杂志，2020，28（7）：700. DOI：10.16439/j.cnki.1673-7245.2020.07.027.

［2］喻快. 中国农村固体燃料使用与心血管和全死因死亡风险的关联性研究［D］. 武汉：华中科技大学，2018.

［3］ARKU R E，BRAUER M，AHMED S H，et al. Long-term exposure to outdoor and household air pollution and blood pressure in the Prospective Urban and Rural Epidemiological（PURE）study［J］. Environ Pollut，2020，262：114197. DOI：10.1016/j.envpol.2020.114197.

［4］ARKU R E，EZZATI M，BAUMGARTNER J，et al. Elevated blood pressure and household solid fuel use in premenopausal women：analysis of 12 Demographic and Health Surveys（DHS）from 10 countries［J］. Environ Res，2018，160：499-505. DOI：10.1016/j.envres.2017.10.026.

［5］BARMAN N，HAQUE M A，RAHMAN A K M F，et al. Association of biomass fuel smoke exposure and hypertension among rural women of Bangladesh：a cross-sectional study［J］. Indian J Public Health，2019，63（3）：258-260. DOI：10.4103/ijph.IJPH_462_18.

［6］BURROUGHS PEÑA M，ROMERO K M，VELAZQUEZ E J，et al. Relationship between daily exposure to biomass fuel smoke and blood pressure in high-altitude Peru［J］. Hypertension，2015，65（5）：

1134-1140. DOI：10.1161/HYPERTENSIONAHA.114.04840.

[7] DUTTA A，RAY M R. Prevalence of hypertension and pre-hypertension in rural women：a report from the villages of West Bengal，a state in the eastern part of India [J]. Aust J Rural Health，2012，20（4）：219-225. DOI：10.1111/j.1440-1584.2012.01287.x.

[8] BAUMGARTNER J，SCHAUER J J，EZZATI M，et al. Indoor air pollution and blood pressure in adult women living in rural China [J]. Environ Health Perspect，2011，119（10）：1390-1395. DOI：10.1289/ehp.1003371.

[9] LEE M S，HANG J Q，ZHANG F Y，et al. In-home solid fuel use and cardiovascular disease：a cross-sectional analysis of the Shanghai Putuo study [J]. Environ Health，2012，11：18. DOI：10.1186/1476-069X-11-18.

[10] 刘之光，刘炜达，宋若齐，等. 中国城乡地区烹饪用燃料和高血压患病率的关联 [J]. 中国循环杂志，2022，37（1）：69-75. DOI：10.3969/j.issn.1000-3614.2022.01.011.

[11] OFORI S N，FOBIL J N，ODIA O J. Household biomass fuel use，blood pressure and carotid intima media thickness；a cross sectional study of rural dwelling women in Southern Nigeria [J]. Environ Pollut，2018，242（Pt A）：390-397. DOI：10.1016/j.envpol.2018.06.102.

[12] FATMI Z，NTANI G，COGGON D. Coronary heart disease，hypertension and use of biomass fuel among women：comparative cross-sectional study [J]. BMJ Open，2019，9（8）：e030881. DOI：10.1136/bmjopen-2019-030881.

[13] GU Y Z，MA W J，LIU T，et al. Using biomass fuel at home and the development of hypertension in adult women living in rural areas of Guangdong：a multilevel model analysis [J]. Zhonghua Liuxingbingxue Zazhi，2014，35（8）：901-904.

[14] MISRA A，LONGNECKER M P，DIONISIO K L，et al. Household fuel use and biomarkers of inflammation and respiratory illness among rural South African Women [J]. Environ Res，2018，166：112-116. DOI：10.1016/j.envres.2018.05.016.

[15] LEWINGTON S，CLARKE R，QIZILBASH N，et al. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality：a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies [J]. Lancet，2002，360（9349）：1903-1913. DOI：10.1016/s0140-6736(02)11911-8.

[16] URCH B，SILVERMAN F，COREY P，et al. Acute blood pressure responses in healthy adults during controlled air pollution exposures [J]. Environ Health Perspect，2005，113（8）：1052-1055. DOI：10.1289/ehp.7785.

[17] YANG B Y，QIAN Z M，HOWARD S W，et al. Global association between ambient air pollution and blood pressure：a systematic review and meta-analysis [J]. Environ Pollut，2018，235：576-588. DOI：10.1016/j.envpol.2018.01.001.

[18] CHUANG K J，YAN Y H，CHIU S Y，et al. Long-term air pollution exposure and risk factors for cardiovascular diseases among the elderly in Taiwan [J]. Occup Environ Med，2011，68（1）：64-68. DOI：10.1136/oem.2009.052704.

[19] ZHANG P D，LV Y B，LI Z H，et al. Age，period，and cohort effects on activities of daily living，physical performance，and cognitive functioning impairment among the oldest-old in China [J]. J Gerontol A Biol Sci Med Sci，2020，75（6）：1214-1221. DOI：10.1093/gerona/glz196.

[20] JIA G H，AROOR A R，DEMARCO V G，et al. Vascular stiffness in insulin resistance and obesity [J]. Front Physiol，2015，6：231. DOI：10.3389/fphys.2015.00231.

[21] 中华预防医学会，中华预防医学会心脏病预防与控制专业委员会，中华医学会糖尿病学分会，等. 中国健康生活方式预防心血管代谢疾病指南 [J]. 中国循环杂志，2020，35（3）：209-230. DOI：10.3969/j.issn.1000-3614.2020.03.001.

[22] ZHANG X Y，CHEN B，FAN X Y. Different fuel types and heating approaches impact on the indoor air quality of rural houses in northern China [J]. Procedia Eng，2015，121：493-500. DOI：10.1016/j.proeng.2015.08.1097.

[23] BROOK R D，URCH B，DVONCH J T，et al. Insights into the mechanisms and mediators of the effects of air pollution exposure on blood pressure and vascular function in healthy humans [J]. Hypertension，2009，54（3）：659-667. DOI：10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.130237.

[24] 臧希文，齐向前. PM2.5 对心血管系统的影响 [J]. 中国循环杂志，2018，33（3）：305-307. DOI：10.3969/j.issn.1000-3614.2018.03.027.

[25] SACKS J D，STANEK L W，LUBEN T J，et al. Particulate matter-induced health effects：who is susceptible? [J]. Environ Health Perspect，2011，119（4）：446-454. DOI：10.1289/ehp.1002255.

[26] DONG G H，QIAN Z M，XAVERIUS P K，et al. Association between long-term air pollution and increased blood pressure and hypertension in China [J]. Hypertension，2013，61（3）：578-584. DOI：10.1161/hypertensionaha.111.00003.

（收稿日期：2023-04-28；修回日期：2023-06-18）

（本文编辑：康艳辉）